

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-184787
 (43)Date of publication of application : 15.07.1997

a.
 11017 U.S. PTO
 10/083558
 02/27/02

(51)Int.Cl. G01M 11/02
 G01M 11/00

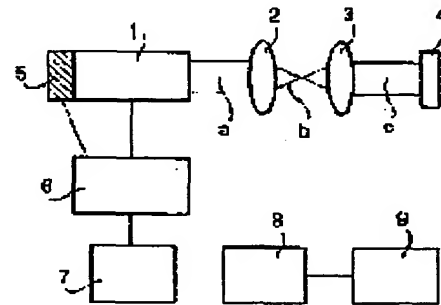
(21)Application number : 07-343269 (71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD
 (22)Date of filing : 28.12.1995 (72)Inventor : KITAGAWA JUNICHI

(54) ANALYSIS/EVALUATION DEVICE FOR OPTICAL LENS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To accurately measure, analyze, and evaluate an optical lens such as an object lens for microscope and a stepper lens with improved performance.

SOLUTION: A flux of light (a) emitted from an interferometer 1 passes through lenses 2 and 3 to be detected being arranged oppositely, is reflected by a reference means 4, and returns to an interference fringe generation means 1 again via the lenses 2 and 3 to be detected, thus generating interference fringes. Data are measured by a light reception means 5 for receiving generated interference fringes and a measuring means 6. An analyzing means 7 analytically converts measured interference fringes to transmission wave front. The obtained interference fringes or transmission wave fronts are stored by a storage means 8 and are subjected to specific operation processing by a processing means 9.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-184787

(43)公開日 平成9年(1997)7月15日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 11/02			G 0 1 M 11/02	B
11/00			11/00	L

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平7-343269

(22)出願日 平成7年(1995)12月28日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 北川 純一

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ

ンパス光学工業株式会社内

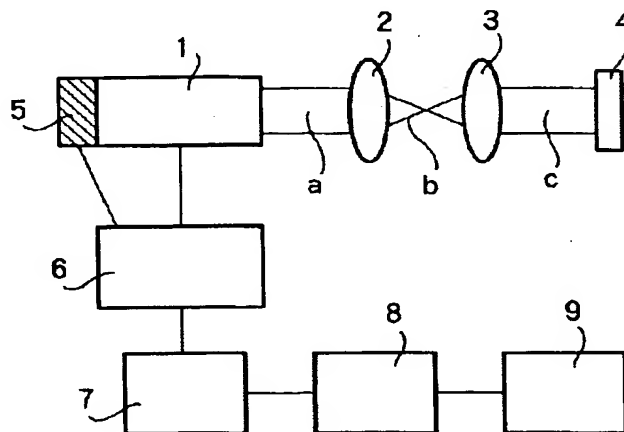
(74)代理人 弁理士 篠原 泰司

(54)【発明の名称】 光学レンズ用解析評価装置

(57)【要約】

【課題】顕微鏡用対物レンズやステーパーレンズなどの高性能・高精度な光学レンズの測定及び解析・評価を可能にする。

【解決手段】 干渉計1より射出された光束aは、対向配置された被検レンズ2、3を経て、参照手段4によって反射した後、被検レンズ2、3を介して、再び干渉縞生成手段1に戻り、干渉縞が生成される。生成した干渉縞を受光する受光手段5及び測定手段6においてデータが測定される。解析手段7は、測定された干渉縞を透過波面に解析的に変換するものである。得られた干渉縞又は透過波面は記憶手段8に記憶され、処理手段9によって所定の演算処理が施される。



【特許請求の範囲】**【請求項1】** 干渉縞生成手段と、

前記干渉縞生成手段により干渉縞を生成する際に被検レンズとなる少なくとも二つの光学レンズと、

干渉縞受光手段と、

前記干渉縞受光手段により受光された干渉縞を測定する測定手段と、

前記測定手段により測定された干渉縞を解析する解析手段と、

前記解析手段により解析された干渉縞を記憶する記憶手段と、

前記記憶手段により記憶された干渉縞に所定の演算を行う処理手段とを備え、

測定される前記光学レンズは相対的に各々固有の座標系を有し、かつ、一定の位置関係にあるように保持されている光学レンズ用解析評価装置。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】本発明は、干渉計を用いて光学レンズの性能を測定評価する方法に関し、特に、顕微鏡用対物レンズや縮小露光投影レンズ（いわゆるステッパレンズ）に代表されるような高性能かつ高精度の光学レンズ用解析評価装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、代表的な干渉計としてフィゾー（Fizeau）型とトワイマン－グリーン（Twyman-Green）型が古くから知られており、これらの干渉計と干渉計測に関してはDaniel Malacaraの『Optical Shop Testing』（John Wiley & Sons, Inc. 1978）に詳述されている。

【0003】一例として、この本に紹介されるトワイマン－グリーン型干渉計を図14に示す。これは参照ミラーを用いて被検レンズの透過波面を測定する装置である。また同本に紹介されている顕微鏡用対物レンズの測定例を図15に示す。これらは、前述の手法を利用したものであるが、図15（d）は、2つの対物レンズを対向させて2本分の透過波面を測定するものである（以下この方式を「対向方式」という）。

【0004】また特開昭62-127601号公報には、球欠の深い球面ミラーでも高精度に測定するための装置が記載されている。対物レンズの透過率を測定する方法としては、特開平7-92084号公報又は特開平7-92085号公報に記載されたものがある。これらの方法は有限系か無限系かの差異はあるが、図15

（d）に示す方法を利用したものであり、高精度に透過率を測定することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】一般に顕微鏡用対物レンズは高性能かつ高精度に設計、製造されている。こ

で、「高性能」とは、高NA化されていると共に、広範囲にわたり諸収差が良好に補正設計され、高解像度の顕微鏡像が実現されていることを指す。また、このような「高性能」を保持するためには、設計された各光学部品を高精度に製作し、かつ、組み立てる製造技術が要求される。

【0006】しかしながら、このような顕微鏡用対物レンズの性能評価は基準サンプルなどを用いた目視観察（いわゆる官能評価）が主流であり、実際には、非常に微妙な差異や不具合を発見することが難しい場合がある。

【0007】従来、前述した干渉計測を利用して対物レンズを評価する方法が試みられているが、この方法のみでは、特に、NAが中間程度以下かつ乾燥系でないと測定が困難であった。対物レンズを測定するには図14

（a）又は図15（a）に示した球面凹ミラーを用いるのが適当である。その他では、図14（b）に示す凸ミラーでは作動距離のない対物レンズには不向きであり、図14（c）又は図15（b）に示す平面ミラーでは非対称な成分の干渉縞を得ることができず、図15（c）に示す半球プリズムを用いるとそこでの収差が問題になるなどの機構上の問題が生じてしまう。

【0008】図15（d）に示す対物レンズ対向方式では2つの和となる波面が得られると前掲の本には紹介されているが、実際には、この測定のみでは非対称な収差成分（コマ、アス）が打ち消されてしまい、得られる波面が正確な評価につながらない場合がある。

【0009】一方、図15（a）に示す球面凹ミラーを用いる場合でも、高NAの対物レンズを測定するためには球欠の深い半球状の非常に高精度な凹面ミラーが必要となり、実際の制作は困難である。また、生物用に用いられる液浸系の対物レンズでは凹面ミラーを液浸媒質に浸さなければならず、またその媒質の流動性が干渉縞に影響を及ぼすといった問題も生じる。

【0010】特開昭62-127601号公報は球欠の問題を解決するために、外部入力でNAを入力し、波面収差を補正する手段をとっているが、結局は、球面凹ミラーなどを使用することになるため、上述の問題は避けられない。また、組上がり光学系を測定するためには、予めNAを測定するための工程も必要になり、高NA時には実際の波面と干渉縞から得られる波面とが大きく乖離する。

【0011】以上のように、これまでの方法は、特に、顕微鏡用対物レンズのような高NAの光学レンズに対して必要十分に干渉計を構成できない。また、測定結果に誤差要因が大きいといった問題を生じやすく、測定方法は検討されても実用的な解析評価装置として適用することが困難であった。

【0012】本発明は以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、従来困難であった、顕微鏡用対物レン

ズやステーパーレンズなどの高性能かつ高精度な光学レンズを測定し、かつ、解析・評価を行うことができる装置を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】この目的を達成するため、本発明に係る光学レンズ用解析評価装置は、干渉縞生成手段と、前記干渉縞生成手段により干渉縞を生成する際に被検レンズとなる少なくとも二つの光学レンズと、干渉縞受光手段と、前記干渉縞受光手段により受光された干渉縞を測定する測定手段と、前記測定手段により測定された干渉縞を解析する解析手段と、前記解析手段により解析された干渉縞を記憶する記憶手段と、前記記憶手段により記憶された干渉縞に所定の演算を行う処理手段とを備え、測定される前記光学レンズは相対的に各々固有の座標系を有し、かつ、一定の位置関係にあるように保持されていることを特徴とする。

【0014】本発明の好ましい実施態様においては、前記光学レンズは光軸の垂直面内に前記座標系を有し、前記光学レンズの各々が光軸を中心として相対的に回転可能であるように構成される。本発明の好ましい実施態様においては、測定される光学レンズが二つである場合には、これら二つの光学レンズが相互に向き合って配置され、さらに、少なくとも一つの前記光学レンズの瞳面又は絞り面の近傍へ透過光又は透過波面を反射させるように配置された参照手段を設けることができる。本発明の好ましい実施態様においては、測定される光学レンズが少なくとも3つ以上ある場合には、測定される光学レンズはこれら3つの光学レンズの中から2つずつ選択することができる。

【0015】図1に本発明の概念図を示す。干渉縞生成手段1としては一般の干渉計を用いることができ、干渉縞を生成できればどのようなタイプのものでもよい。被検レンズ2、3は少なくとも2本以上必要であり、図15(d)に示すように対向方式とすれば、干渉計より射出された光束aは、被検レンズ2、3を介して変換された高NAの光束bの受け渡しができるようになる。光束cは参照手段4によって反射され、被検レンズ2、3を介して、再び干渉縞生成手段1に戻り、干渉縞が生成される。生成した干渉縞を受光する受光手段5及び測定手段6は前述のように規定されたデータを測定するために

$$W = (W1 + W2 - W3) / 2$$

【0020】本発明の好ましい実施態様においては、少なくとも3つの光学レンズを一組として測定した光学レンズの透過波面Wa、Wb、Wcと、測定した透過光及

$$W1 = Wa + Wb$$

$$W2 = Wb + Wc$$

$$W3 = Wa + Wc$$

前記処理手段における演算が次の(3)式により表され

$$Wa = (W1 + W3 - W2) / 2$$

$$Wb = (W1 + W2 - W3) / 2$$

用いられる。解析手段7は、測定された干渉縞を透過波面に解析的に変換するものである。得られた干渉縞又は透過波面は記憶手段8に一旦保持又は保存され、処理手段9によって後述する所定の演算処理が施される。

【0016】また、被検レンズ3から射出される光束cはやや広がりを持つことが多く、生成される干渉縞の周辺までピントを合わせにくくなるため、正しい干渉像を得ることが難しい。そこで、参照手段4は、被検レンズの一方の瞳面又は絞り面の近傍に透過光又は透過波面を反射させるように平面ミラーとして構成し、被検レンズ3に近接させることが望ましい。また、図2に示すように、比較的緩い凹面を用いたり、あるいは、光束c中に図3に示すようなNAの小さいアフォーカル系を挿入し、これを参照手段4とすることによっても上述と同等の効果を得る。

【0017】ここで、2本の被検レンズ2、3には、相対的な位置関係を保持するための固有の座標系が光軸に対して垂直な基準面内に設けられている。この「基準面」とは、光軸に垂直であれば、瞳面、絞り面又は当て付け面などでよく、面内座標系の目安となる基準が枠外周などに設けられればよい。詳しくは、被検レンズの基準のマーキングがどこに位置するかを常にチェックしていればよい。また、光軸を中心に基準面を回転させると、マーキングの位置決めが行いやすく、複数回の測定中においても光学レンズを常に一定の位置関係に保持することができる。

【0018】2本以上の光学レンズを組み換えて選択的に2本ずつ測定する場合でも同様に行なえば、対象となる光学レンズに対して同等の効果を得る。また、本発明では、前述した高性能・高精度の光学レンズの干渉縞又は透過波面内において、測定又は解析される対称又は非対称な収差を効果的に測定することができ、かつ、測定中、非対称な収差成分に常に一定の方向性を持たせることもできる。

【0019】本発明の好ましい実施態様においては、前記光学レンズを組み換えて測定した透過光又は透過波面W1、W2、W3と、前記光学レンズの一つの透過波面Wとを有し、前記処理手段における演算が(1)式により表されることを特徴とする。

$$(1)$$

び透過波面W1、W2、W3とが次の(2)式の関係を有し、

$$(2)$$

ることを特徴とする。

$$W_c = (W_2 + W_3 - W_1) / 2$$

【0021】本発明の好ましい実施態様においては、少なくとも二つ以上の光学レンズの透過波面 W_a 、 W_b 、--- において、(1)式となる W_b と、測定した透過光 $W_a = W - W_b$

【0022】記憶手段8に保持されている透過波面(干渉縞)の情報が少なくとも3つ以上あり、その中に被検レンズの透過波面 W があるとき、(1)式の演算処理を行なうことによって W のみを算出することができる。なお、この演算を効果的に行なうためには、測定中の被検レンズ(図1の2、3)の位置決めが必要であり、演算する複数の透過波面は測定中の位置関係と一致しなければならない。つまり、前述した基準面を回転させてマーキング位置決めする場合は、演算する透過波面の位置関係が測定中と同等な一定の位置関係となり、直接的に演算することができる。たとえ、位置決めしていなくても、マーキングの位置が分かっているならば前述した基準面の方位のみ異なるため、演算する透過波面をデータ上で必要なだけ回転させて一致させれば、上述と同様に演算処理することができる。よって、演算上から考えても、算出される透過波面には対称な収差成分のみならず、方向性を持つ非対称な収差成分も保存されることは明らかであり、光学レンズの評価においても好適である。

【0023】また、少なくとも3本1組の被検レンズの透過波面 W_a 、 W_b 、 W_c がある場合、(2)式となるように組み合わせて測定すれば、(3)式を用いて W_a 、 W_b 、 W_c を効率的に算出することができる。さらに、少なくとも2本以上の被検レンズの透過波面 W_a 、 W_b 、...において、(1)式で W_b が明らかな場合、 $W (=W_a + W_b)$ を測定すれば、(4)式で簡単に W_a を算出することもできる。

【0024】ここで干渉縞から解析される波面分布のデータ表現はいくつかの手法が考えられる。一般的には画像データ又はマトリックス・データが用いられるが、この場合、各画素毎にデータが保存されるため、複数の測定データ間において、対応する画素毎の演算を行えばよい。この手法は測定手段又は解析手段で必要な測定領域のみを規定すればよいので、必ずしも同種の光学レンズでなくてもよい。

【0025】また、干渉計測においては、解析された波面分布を収差関数に近似することも一般的である。特によく用いられるものとしてはZernike多項式があり、『光学の原理II』(691~713頁)に詳しい。Zernike多項式はStandard ZernikeとFringe Zernikeに分かれるが、干渉計測ではその簡便さからFringe Zernikeが利用されることが多い。Zernike多項式は光学系の瞳面を単位円内で正規化し、原点をピークして半径 ρ と角度 θ で、各収差成分を級数展開で表現するため、解析的に評価することもできる。また、上述の

(3)

及び透過波面 W とを有し、前記処理手段における演算が(4)式により表されることを特徴とする。

(4)

画像データ又はマトリックス・データではデータが多量となり、かつ、測定領域に誤差が生じやすく、演算する際のマッチングに問題が生じる。Zernike多項式は原点を基準とした座標軸を有し、マーキングとの対応性や演算の信頼性を高めることができる。さらに、必要なデータは多項式の各項の係数のみであるため、データ量及び演算時間が少なくてすむため好適である。しかし、収差成分は多項式に展開されるため、実際の測定時に表れる高周波成分(多くはノイズ)はカットされやすい。

【0026】本発明の好ましい実施態様においては、前記光学レンズは顕微鏡用対物レンズであることを特徴とする。本発明の好ましい実施態様においては、前記光学レンズ間に平行平板を着脱自在かつ位置調整可能に配置したことを特徴とする。本発明の好ましい実施態様においては、前記光学レンズ間に挿入される液浸媒質を保持する部材を備えることを特徴とする。

【0027】特に、本発明に係る光学レンズ用解析評価装置は顕微鏡用対物レンズに好適である。また生物分野などで用いられる対物レンズにはカバーガラスを必要とするものもあるが、本発明ではカバーガラス2枚分の厚みを持つ平行平板を対向式の対物レンズ間に挿入することによって対応することができる。この場合、カバーガラスの傾き及び位置の調整ができるようにしておくことが好ましい。また、更なる高NA化を図った液浸系の対物レンズについても、液浸媒質の表面張力を用いて、対向する対物レンズ間に挿入・保持することで適用できる。特によく用いられる液浸媒質は水、オイルなどであるが、対物レンズの作動距離が長い場合、水などの粘性の低い媒質については表面張力で保持できないため、図4に示すような中空の管状の保持部材を設けることが好ましい。

【0028】

【発明の実施の形態】

(第1実施形態) 図5に本発明の第1実施形態を示す。干渉計1はフィゾー型であり、He-Neレーザなどのレーザ光源10、参照面を有するミラー11、ミラー11を移動させるピエゾ素子12、干渉縞を検出する撮像素子5を有している。測定演算処理ユニット13は、ピエゾ素子12に信号を送り、ミラー11を微小に移動させ、撮像素子5からの干渉強度信号を読みとる位相シフト法(位相変調法ともいう)で測定を行う測定処理部6、測定された干渉像を波面マップに変換する解析処理部7、測定された液面マップを保持又は保存する記憶処理部8、測定された複数の液面マップに所定の演算を施

す演算処理部9を有する。これらは一体に形成されていてもよく、あるいは、別個に形成されていてもよい。

【0029】レーザ光源10から射出された光はミラー11の参照面で参照光路と被検光路aの2光路に分割される。被検光路aは干渉計1から外部に射出され、被検レンズ2に入射する。対向方式に配置されている被検レンズ2、3は光軸を中心に回転可能であるように構成されている。対向方式により被検レンズ2を介して平行光束aは高NAの光束bに変換され、被検レンズ3を介して光束cに変換される。光束cは平面ミラー4によって反射され、被検レンズ2、3を介して、再び光束aとなって干渉計1に入射する。干渉計1では、撮像素子5を用いて、ミラー11によって分割された参照光路と被検光路の干渉像を観測することができる。

【0030】ここで光束cは光束aと同様の平行光となるが、実際はレーザビームが広がりを持っているため、必ずしも平行光束とならない。このため、被検レンズ3の射出光と平面ミラー4の反射光が同等とならず、平面ミラー4が被検レンズ3から離れすぎていると、撮像素

$$W1 = Wa + Wb$$

$$W2 = Wb + Wc$$

$$W3 = Wa + Wc$$

となるように対物レンズを組合せ、干渉計1と測定演算処理部13の測定処理部6を用いて3回行なわれる。これらの各々の干渉縞データは測定ごとに解析処理部7を

$$Wa = (W1 + W3 - W2) / 2$$

$$Wb = (W1 + W2 - W3) / 2$$

$$Wc = (W2 + W3 - W1) / 2$$

の処理が施され、各対物レンズの透過波面に分離される。保持される測定波面W1～W3は撮像素子5によるマトリックスデータでもZernike係数でもよい。

【0033】マトリックスデータではW1～W3に対応する画素データ同士で演算を行えばよく、一方、Zernike係数では各項係数同士の演算のみとなるためデータ量も少なく簡便である。また、評価される収差成分は主に球面収差、コマ収差、非点収差であるが、対称な収差成分が球面収差、非対称な収差成分がコマ収差、非点収差である。W1～W3の測定の際、アライメントマークを共通の位置にしておけば、非対称な収差成分も打ち消されず、(3)式は直接的に演算できるため簡便である。

【0034】これら対物レンズのデータを再び液面マップ化すれば、高性能の光学レンズでも高精度に測定でき、かつ、評価解析できるようになる。また、(2)式及び(3)式は一つの対物レンズの透過液面Waがある複数回の測定中に含まれ、その測定がW1～W3であればWaを算出できることも含んでいる。さらに、有限系の対物レンズでも収束光を平行光に変換するレンズを挿入すれば適用できる。

【0035】(第2実施形態)図6に本発明の第2実施

子5で観測される干渉像で周辺のピントが合わないといった現象が観測される。従って、上記射出光を被検レンズ3に必要十分に反射させるには、平面ミラー4はできるだけ被検レンズ3に近接させることが望ましい。

【0031】位相シフト法に関しては、谷田貝豊彦著『応用光学 光計測入門』(131～135頁、丸善(株))に詳しい。この手法においては、例えば、図1の干渉計1では、ミラー11の参照面をピエゾ素子などを用いて微小に移動させることによって干渉強度を変更できるようにし、その干渉像を複数取り込んで被検物体の波面分布(または位相分布)を測定するものであり、高精度な干渉計測を可能にしている。

【0032】測定される被検レンズは3本の同種の無限遠補正の顕微鏡用対物レンズであり、それぞれの透過波面をWa、Wb、Wcとする。また、それぞれの対物レンズの外周にはアライメントマークが付されており、被検レンズ2、3のように取り付ける際にはそのアライメントマークが一致するように回転させる。測定は、

(2)

用いて解析され、透過波面マップW1～W3に変換し、記憶処理部8に保存される。測定透過波面W1～W3は演算処理部9において、

(3)

形態を示す。干渉計1はトワイマン・グリーン型であり、He-Neレーザなどのレーザ光源10、参照面を有するミラー11、ミラー11を移動させるピエゾ素子12、干渉縞を検出する撮像素子5を有している。測定演算処理ユニット13は、第1実施形態に用いたユニットと同様の作用をもつものからなる。

【0036】レーザ光源10から射出された光は干渉計1に内蔵されているビームスプリッタにより分割され、参照光路と被検光路aの2光路となる。被検光路aは干渉計1から外部に射出され、被検レンズ2に入射する。第1実施形態と同様に、対向方式の被検レンズ2、3は光軸を中心に回転可能であるように構成されており、被検レンズ2を介して平行光束aは高NAの光束bに変換され、被検レンズ3を介して光束cに変換される。光束cは平面ミラー4によって反射される。本実施形態においても、干渉像を良好に観測するため、平面ミラー4を被検レンズ3に近接させておく。光束cは、被検レンズ2、3を介して、再び光束aとなり干渉計1に入射する。干渉計1では、撮像素子5を用いて、ミラー11によって分割された参照光路と被検光路の干渉像を観測することができる。

【0037】測定される被検レンズは2本の同種の無限

遠補正の顕微鏡用対物レンズであり、それぞれの透過波面を W_a 、 W_b とする。このとき、 W_b は第1実施形態又は本構成の手法を用いて既知であるとする。また、それぞれの対物レンズの外周にはアライメントマークが付

$$W = W_a + W_b$$

となるように、干渉計1と測定演算処理部13の測定処理部6を用いて、 W の一回のみ行なわれる。これらの各々のデータは、測定ごとに解析処理部7を用いて解析さ

$$W_a = W - W_b$$

の処理が施され、対物レンズの透過波面 W_a が分離される。第1実施形態と同様に、保存される測定波面 W は撮像素子5によるマトリックスデータでもZernike係数でもよいが、 W と W_b との演算があるため、 W_b のデータ保持方式と一致させる必要がある。また、評価される収差成分も W_b のアライメントマークを既知のデータと共通の位置にしておけば、第1実施形態と同等の効果を得ることができ、かつ、(4)式で簡単に演算することができる。

【0038】これにより、例えば、4本以上の対物レンズを測定する際、3本1組で第1実施形態のような方法で測定し、残り1本は本実施形態でより簡便に高精度に測定でき、かつ、評価解析できる。なお、第1及び第2実施形態は上述の形態に限定されるわけではなく、干渉計1は干渉縞が生成かつ検出できればよく、どのようなタイプを用いても同等の効果を得ることができる。例えば、マッハツェンダ型干渉計を用いれば、被検レンズがアフォーカルな構成をとるため、平面ミラー4を用いなくとも干渉縞を生成できる。

【0039】同様に、測定も必ずしも位相シフト法のみならず、干渉縞を計測即ち解析的に波面マップを算出できればよい。例えば、従来からある方法としては縞解析法などがある。以上の実施形態では特に顕微鏡用対物レンズの例を示したが、本発明に係る解析評価装置は、対物レンズと同様の仕様をもつ光学系であれば、簡便に適用することができる。例えば、ステッパレンズやFナンバーの小さいカメラレンズなどに適用できる。

【0040】(第3実施形態)図7に第3実施形態に係る解析評価装置を示す。干渉計1及び干渉計1に連結する測定演算処理装置13は第一又は第二実施形態に示したものと同様の構成を有している。干渉計1から射出される被検光路 a は対向方式の被検レンズ2、3に入射する。前述したように、被検レンズ3から射出される光束 c は図3に示すような広がりをもっている。このため、非常にゆるやかな半径 R を有する凹面ミラー4を光束 c 中に配置すれば、凹面ミラー4で反射する光束は再び被検レンズ3に効果的に入射する。半径 R は凹面ミラー4によって光束 c が被検レンズの瞳面又は絞面近傍に反射するように設定される。これにより、第一及び第二実施形態と同様に、干渉計1内にある撮像素子5において周辺までピンツブレのない正確な干渉縞を観測すること

されており、被検レンズ2、3のように対向させる際には、そのアライメントマークが一致するように回転させる。測定は、

(5)

れ、波面マップに変換され、記憶処理部8に保存される。測定透過波面 W は演算処理部9において、

(4)

ができる。

【0041】(第4実施形態)図8に第4実施形態に係る解析評価装置を示す。干渉計1及び干渉計1に連結する測定演算処理装置13は第3実施形態と同様のものである。第1乃至第3実施形態において、干渉像にピントがうまく合わない理由は光束 c が平行光とならないことその他に、撮像素子5までの結像関係が崩れてしまうことにある。すなわち、図1の平面ミラー4と被検レンズ2、3の瞳面が共役な位置関係とならないからである。このため、本実施形態においても、図8に示すように、光束 c 中にアフォーカル系を挿入することによって、参照手段4中の平面ミラーと被検レンズ2、3の瞳面とが光学的に共役な位置関係となる。ここで、アフォーカル系を被検レンズのNAよりも小さいNAとなるように構成すれば、参照手段4で反射する光束 c が被検レンズの瞳面又は絞面近傍に入射し、より効果的かつ正確な干渉縞を観測することができる。

【0042】(第5実施形態)図9に第5実施形態に係る解析評価装置を示す。対向方式で測定される被検レンズ2、3は生物用顕微鏡用対物レンズである。干渉計1及び干渉計1に連結される測定演算処理装置13は第3及び第4実施形態と同様のものである。本実施形態においては、平行平板14及び平行平板14を支持している取り付け治具15が設けられている。

【0043】生物用の対物レンズはカバーガラスを使用するものが多く、そのような対物レンズに対向方式を用いる場合には、図9に示すように、カバーガラス2枚分の厚みを有する平行平板14を取り付け治具15を用いて挿入すればよい。特に、平行平板14は高NAの光束中に挿入されるため、傾斜及び位置の調整を行うことができる取り付け治具15が好ましい。

【0044】また、生物用の対物レンズは液浸系のものが多く、そのような対物レンズを測定する場合には、図10に示すように、液浸媒質16(水、専用オイルなど)を平行平板14と被検レンズ2、3の各々の間に挿入すればよい。この場合、一般には、対物レンズは作動距離が短いため、各対物レンズは媒質16の表面張力によって対向するように保持される。

【0045】なお、作動距離が長い場合には、図11に示すように、液浸媒質16を保持する保持部材17を設ければよい。保持部材17としては、図12(a)に示

すように、媒質16を挿入する穴を有する管状の部材であって、ゴムその他の弾性を有する材料からなるものを用いる。保持部材17は対物レンズの作動距離よりもやや長めにしておけば、対物レンズ間で押さえ付けることにより固定可能である。また、図12(b)のように、対物レンズに接触する部分17aのみ弾性のある材料でつくってもよい。保持部材17の部分17aに挟まれる部分17bは金属又はプラスチックなどの剛性のある材料からつくることができる。平行平板14は、図11のように取り付けるのみならず、必要に応じて、保持部材17を支持するように構成することもできる。その際には、当て付け面などを基準として位置決めを行えばよい。

【0046】さらに、作動距離が長くカバーガラスを有しない対物レンズの場合、図13のような一体型の保持部材17を用いることもできる。この場合、図11の場合よりも、保持部材17の体積が大きくなるため、取扱いが容易になる。また、図12(c)及び(d)のように、対物レンズの外周に嵌め込む形式の保持部材18を用いることもできる。

【0047】以上のように、本実施形態によって各種の顕微鏡用対物レンズを測定することが可能である。さらに、液浸物質の挿入を簡便にするため、保持部材17、18の外周に孔を設けておくことが好ましい。

$$W = (W1 + W2 - W3) / 2$$

【0051】(5) 少なくとも3つの光学レンズを一組として測定した光学レンズの透過波面Wa, Wb, Wc

$$W1 = Wa + Wb$$

$$W2 = Wb + Wc$$

$$W3 = Wa + Wc$$

前記処理手段における演算が次の(3)式により表されることを特徴とする(4)に記載の光学レンズ用解析評価装置。

$$Wa = (W1 + W3 - W2) / 2$$

$$Wb = (W1 + W2 - W3) / 2$$

$$Wc = (W2 + W3 - W1) / 2$$

【0052】(6) 少なくとも二つ以上の光学レンズの透過波面Wa, Wb, --- において、(1)式となるWbと、測定した透過光及び透過波面Wとを有し、前記処

$$Wa = W - Wb$$

(7) 前記光学レンズが顕微鏡用対物レンズであることを特徴とする請求項1又は(4)に記載の光学レンズ用解析評価装置。

【0053】(8) 前記光学レンズ間に平行平板を着脱自在かつ位置調整可能に配置したことを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

(9) 前記光学レンズ間に挿入される液浸媒質を保持する部材を備えることを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

(10) 測定される透過波面及び演算される被検レンズの透過波面がZernike多項式に近似されることを

【0048】以上の説明から明らかであるように、本発明に係る光学レンズ用解析評価装置は特許請求の範囲に記載したもの他に、以下のようにも構成することが可能である。

(1) 前記光学レンズが光軸の垂直面内に前記座標系を有し、前記光学レンズの各々が光軸を中心として相対的に回転可能であることを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

【0049】(2) 測定される光学レンズが二つである場合には、これら二つの光学レンズが相互に向き合って配置されており、少なくとも一つの前記光学レンズの瞳面又は絞り面の近傍へ透過光又は透過波面を反射させるように配置された参照手段を備えていることを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

(3) 測定される光学レンズが少なくとも3つ以上あり、測定される光学レンズはこれら3つの光学レンズの中から2つずつ選択されるものであることを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

【0050】(4) 前記光学レンズを組み換えて測定した透過光又は透過波面W1, W2, W3と、前記光学レンズの一つの透過波面Wとを有し、前記処理手段における演算が(1)式により表されることを特徴とする請求項1に記載の光学レンズ用解析評価装置。

(1)

と、測定した透過光及び透過波面W1, W2, W3とが次の(2)式の関係を有し、

(2)

価装置。

(3)

理手段における演算が(4)式により表されることを特徴とする(4)に記載の光学レンズ用解析評価装置。

(4)

特徴とする(4)乃至(6)の何れかに記載の光学レンズ用解析評価装置。

【0054】

【発明の効果】以上のように、本発明に係る光学レンズ用解析評価装置によれば、干渉計を用いても、高性能かつ高精度の光学レンズの透過波面を高精度に測定評価することができる。また、本発明に係る光学レンズ用解析評価装置はいわゆる一般の干渉にも適用することができ、各種の光学レンズ(特に、顕微鏡用対物レンズ)に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の概要を示す概略図である。

【図2】参照手段の一例を示す概略図である。

【図3】参照手段の他の例を示す概略図である。

【図4】保持部材の一例を示す概略図である。

【図5】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の第一実施形態の構成図である。

【図6】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の第二実施形態の構成図である。

【図7】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の第三実施形態の構成図である。

【図8】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の第四実施形態の構成図である。

【図9】本発明に係る光学レンズ用解析評価装置の第五実施形態の構成図である。

【図10】液浸媒質を使用した実施形態の概略図である。

【図11】液浸媒質を保持部材中に保持した実施形態の概略図である。

【図12】保持部材の変形例を示す概略図である。

【図13】保持部材の他の変形例を示す概略図である。

【図14】対物レンズ測定のための従来の方法の概略図

である。

【図15】対物レンズ測定のための従来の方法の概念図である。

【符号の説明】

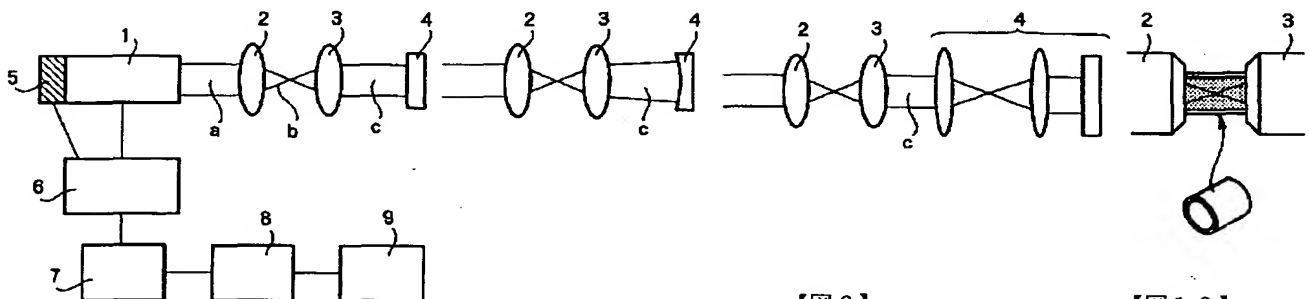
- 1 干渉縞生成手段
- 2 被検レンズ
- 3 被検レンズ
- 4 参照手段
- 5 受光手段
- 6 測定手段
- 7 解析手段
- 8 記憶手段
- 9 処理手段
- 10 レーザ光源
- 11 ミラー
- 12 ピエゾ素子
- 13 測定演算処理ユニット
- 14 平行平板
- 15 取り付け治具
- 16 液浸物質
- 17 保持部材

【図1】

【図2】

【図3】

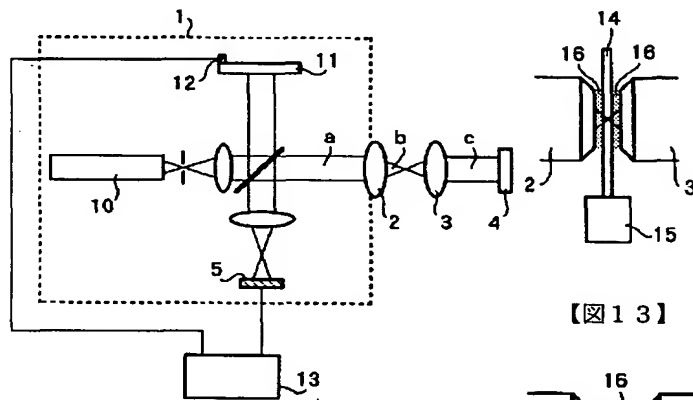
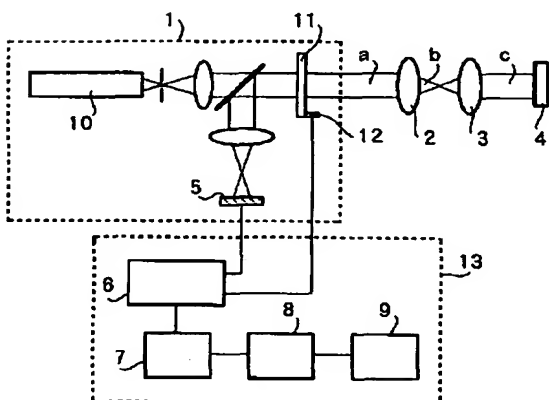
【図4】



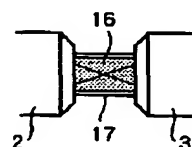
【図6】

【図10】

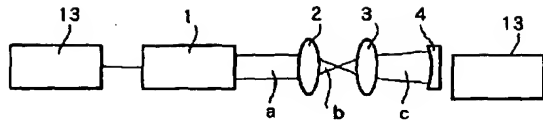
【図5】



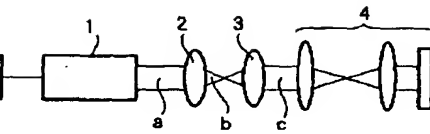
【図13】



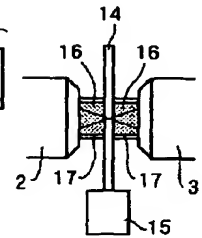
【図7】



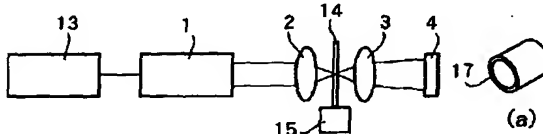
【図8】



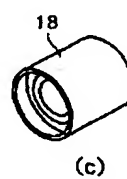
【図11】



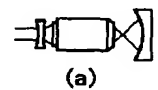
【図9】



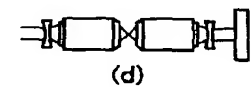
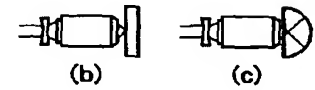
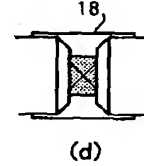
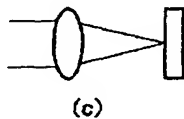
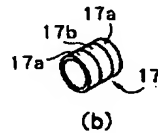
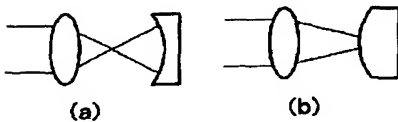
【図12】



【図15】



【図14】



【手続補正書】

【提出日】平成8年2月26日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正内容】

【0025】また、干渉計測においては、解析された波面分布を収差関数に近似することも一般的である。特によく用いられるものとしてはZernike多項式があり、Max Born and Emil Wolf: 『光学の原理II』（東海大学出版会、1991、）691～713頁）に詳しい。Zernike多項式はStandard ZernikeとFringe Zernikeに分かれるが、干渉計測ではその簡便さからFringe Zernikeが利用されることが多い。Zernike多項式は光学系の瞳面を単位円内で正規化し、原点をピークとして半径 ρ と角度 θ で、各収差成分を級数展開で表現するため、解析的に評価することもできる。また、上述の画像データ又はマトリックス・データではデータが多量となり、かつ、測定領域に誤差が生じやすく、演算する際のマッチングに問題が生じ

る。Zernike多項式は原点を基準とした座標軸を有し、マーキングとの対応性や演算の信頼性を高めることができる。さらに、必要なデータは多項式の各項の係数のみであるため、データ量及び演算時間が少なくすむため好適である。しかし、収差成分は多項式に展開されるため、実際の測定時に表れる高周波成分（多くはノイズ）はカットされやすい。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】（第3実施形態）図7に第3実施形態に係る解析評価装置を示す。干渉計1及び干渉計1に連結する測定演算処理装置13は第一又は第二実施形態に示したものと同様の構成を有している。干渉計1から射出される被検光路aは対向方式の被検レンズ2、3に入射する。前述したように、被検レンズ3から射出される光束cは図2に示すような広がり方を有している。このため、非常にゆるやかな半径Rを有する凹面ミラー4を光束c中に配置すれば、凹面ミラー4で反射する光束は再び被

検レンズ3に効果的に入射する。半径Rは凹面ミラー4によって光束cが被検レンズの瞳面又は絞り面近傍に反射するように設定される。これにより、第一及び第二実

施形態と同様に、干渉計1内にある撮像素子5において周辺までピントブレのない正確な干渉縞を観測することができる。

【手続補正書】

【提出日】平成8年2月26日

【手続補正1】

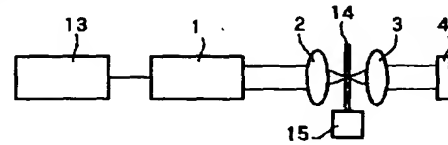
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図9

【補正方法】変更

【補正内容】

【図9】



Publication of Unexamined Patent Application

(11) Publication Number: 184787/1997
(43) Date of Publication: July 15, 1997
(21) Application Number: 343269/1995
(22) Date of Filing: December 28, 1995
(71) Applicant: Olympus Optical Co., Ltd.

(54) Title of Invention:

Analytical Evaluation Apparatus for Optical Lens

[0042] (Embodiment 5)

Fig. 9 shows an analytical evaluation apparatus according to Embodiment 5. The lenses under test 2 and 3 to be measured by the counterposing method, are objectives for biological microscope. An interferometer 1 and a measuring processor 13 coupled to the interferometer 1 are similar to those in Embodiments 3 and 4. Further in this embodiment, a parallel plane plate 14 and a mounting member 15 for supporting the parallel plane plate 14 are provided.

[0043]

Many biological objectives are used with cover glasses, and, when such objectives are used by the counterposing method, the lenses may be interposed by interposing a parallel plane plate 14 having the thickness of two sheets of the cover glasses, with using a mounting member 15, as shown in Fig. 9. Especially,

since the parallel plane plate 14 is interposed in the optical flux of high NA, it is preferable that the mounting member 15 can adjust the angle and position of the plate.

[0044]

Furthermore, many biological objectives are used in an immersion system, and, when such objectives are to be measured, the lenses may be measured by putting an immersion medium 16 (water, specified oil, etc.) between the parallel plane plate 14 and the respective objectives under test 2 and 3. In this case, since the working distance of objective is generally short, the objectives are held so that the lenses are facing to each other with the help of surface tension of the medium 16.

[0045]

On the other hand, when the working distance of objective is long, support members 17 for holding the immersion medium 16 may be provided as shown in Fig. 11. The support member 17 thus used is, as shown in Fig. 12(a), a tubular member having a hole to be filled with the medium 16, and is made of an elastic material such as rubber. The support members 17 may be formed slightly longer than the working distance of objective, so that those can be fixed by compressing with both objectives. The support member 17 may be also formed partially of an elastic material at portions 17a, as shown in Fig. 12(b), which are to be in contact with the objectives. The middle portion 17b

between the portions 17a may be made of a rigid material such as metal, plastic, etc. The parallel plane plate 14 is not always attached as shown in Fig. 11, but, if necessary, it may be also arranged so that the plate holds the support member 17 instead. In this case, its positioning can be achieved by using a butting plane etc. as a reference.

[0046]

In case the objectives have further longer working distance and are used without cover glasses, a unified form of support member 17 may be used as shown in Fig. 13. In this case, since the volume of support member 17 is larger than in the case of Fig. 11, it becomes easier to handle it. Moreover, a support member 18 formed to be fitted to the circumference of the objectives, may be also employed, as shown in Figs. 12(c) and 12(d).

